

## СВОЙСТВА ГАЗОПЛАМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ю.Г. Кобяк, ассистент; В.А. Коваль, канд. техн. наук, доцент;

П.С. Пригун, студент

УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

### Properties of flame composite polymeric coatings

Results of researches of physics and mechanical properties of the composite coverings received gas-flame spraying are resulted. The multilevel effect from joint action of materials in view of modern performances about the nature of strengthening and a structure of polymers mechanisms of their modifying influence are proved. The interrelation between technological parameters of process spraying is established and mechanical characteristics of a material, optimize structure of a composite polymeric coating.

Бурное развитие современной техники требует создания новых конструкторских материалов, превосходящих традиционные по многим параметрам, в частности физико-механическим свойствам и антифрикционным характеристикам.

Требования к показателям надежности узлов трения таковы, что для обеспечения длительной работы подвижных сопряжений необходимо применять материалы с низкими значениями коэффициента трения, способные выдерживать значительные динамические нагрузки. Поэтому именно полимеры в определенных интервалах температур, скоростей скольжения и нагрузок, обладая при этом высокими демпфирующими характеристиками, бесшумностью в работе, способны заменить традиционно используемые в аналогичных условиях материалы (медь, бронза, баббиты, сплавы на их основе) [8].

Следует отметить, что при решении вопросов упрочнения и, особенно, восстановления изношенных пар трения наблюдается тенденция использования технологических приемов, заключающихся в нанесении тонкослойных покрытий из различных материалов. Помимо традиционно используемых для этих целей керамик, металлических порошков различных сплавов, несомненна перспективность применения разнообразных композиционных материалов на полимерной основе.

Начальным этапом создания любого композиционного материала является изучение требований к материалу узла трения, что

напрямую зависит от конкретных условий работы. Выбор компонентов композиционного материала необходимо производить на основании теоретического анализа влияния различных компонентов на свойства получаемого покрытия, а значит и поведения в конкретных условиях эксплуатации. Обязателен также учет технологичности их нанесения и стабильности характеристик получаемых покрытий [7]. Из этого очевидно изучение влияния технологических режимов процесса переработки на свойства получаемых покрытий.

Технология газопламенного напыления является едва ли не самым удобным и перспективным способом формирования покрытий поверхностей деталей разнообразного функционального назначения. Принцип формирования данным способом подразумевает использование термопластичных полимеров для получения как чистых (или ненаполненных) полимерных материалов, так и полимерных покрытий с наполнителем. Наполнение как способ улучшения технологических свойств полимерных материалов, известен давно и широко используется в практике переработки термопластичных и терморезистивных полимеров, но это, в свою очередь, усложняет технологию переработки.

В качестве полимерной матрицы перспективными для узлов трения считаются полиамиды. Полиамидные тонкослойные композиционные покрытия в узлах трения имеют следующие преимущества по сравнению со сплошной деталью [1,6]:

- обладают лучшей теплопроводностью, что позволяет повысить скоростные и нагрузочные режимы;
- имеют более высокую износостойкость покрытия;
- менее чувствительны к колебаниям влажности и температуры при нанесении на жесткую основу.

Антифрикционные свойства полиамидов характеризуются низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Наибольший эффект достигается при использовании в виде тонкослойных (0,2 – 1,0 мм) и композиционных (0,5 – 1,8 мм) антифрикционных покрытий [6]. Данный материал удовлетворительно реагирует на введение различного рода наполнителей, в том числе антифрикционных, включая полимеры.

Обычно путем увеличения трибостойчивости полимеров предлагается их упрочнение, что может достигаться либо путем структурной модификации полиамидной матрицы через структурно-активные наполнители (концентрация – сотые и тысячные доли процента), либо физической модификации через создание жесткого

трехмерного каркаса (концентрация наполнителя – до нескольких десятков процентов) [7]. Обеспечение их оптимального сочетания реализуется на стадии разработки технологии газопламенного напыления.

Цель настоящей работы – определение параметров процесса нанесения, при которых будет формироваться качественное покрытие с максимально возможными свойствами (прежде всего прочностными) наряду с высокой технологичностью процесса и минимальными потерями материала при напылении.

Известно, что газотермически напыленные покрытия характеризуются множеством параметров, однако определяющее влияние на характер поведения покрытия в условиях эксплуатации будут оказывать его прочностные свойства и триботехнические характеристики [10].

При изучении прочности любого материала в большинстве случаев рассматривают две ее составляющие – адгезионную и когезионную. Каждая из них характеризует величину какого-либо параметра. Если адгезионная составляющая – это преимущественно прочность сцепления материала с основой  $\sigma_{сн}$ , то когезионная – прочность на разрыв или разрывное усилие  $\sigma_p$ . В соответствии с существующими методами исследования данные параметры являются контролируемыми.

К параметрам, влияющим на исследуемую величину прочности композиционного материала на разрыв  $\sigma_p$ , можно отнести: размер частиц наполнителя, количественное содержание наполнителя в матрице, его распределение в объеме материала, адгезионную прочность между частицами наполнителя и полимерной матрицей. Изучение динамики изменения данных характеристик осложняется особым характером поведения при нагружении ввиду радикально отличающихся свойств, в первую очередь, упругих, матрицы и наполнителя.

Немаловажным фактором, определяющим прочность покрытия, является адгезионная прочность частиц наполнителя к матрице  $\sigma_{сн}$ . Данный параметр определяется характером поверхности частиц наполнителя, а также ее энергетикой, характеризующей способность наполнителя к смачиванию. Именно адгезионная прочность будет определять величину напряжения вокруг частиц, характер образования и размер дефекта. В рассматриваемом материале реализуются два вида связей: механическая – осуществляемая за счет зацепления или трения, и связь при смачивании и растворении, осуществляемая за счет сил поверхностного натяжения расплавленного полимера, что позволяет отнести его к первому классу композицион-

ных материалов (матрица и частицы наполнителя нерастворимы и не образуют химических соединений) [2].

При анализе результатов представляет интерес получение зависимости параметров прочности и структурных характеристик от ряда переменных, в первую очередь, технологических режимов процесса нанесения (температура предварительного подогрева, дистанция нанесения, скорость движения частиц в струе и мощность газопламенной струи и т.п.).

Дистанция напыления влияет на такие качественные характеристики, как плотность (пористость) и прочность сцепления с основой [9]. От ее правильного выбора зависит температура в зоне напыления, толщина слоя, слоистость покрытия, его структура и ряд других параметров.

Температура предварительного подогрева важна именно для полимерных материалов ввиду преобладающего влияния на адгезионную прочность покрытия, т.е. прочность сцепления напыляемого материала с основой. Это, в первую очередь, связано со спецификой полимеров из-за достаточно низких температур их плавления, а также особым поведением порошковых полимерных материалов в газопламенной струе. Предварительный нагрев изделия до определенной температуры позволяет сформировать запас тепла, необходимого для расплавления и последующего растекания полимера [9]. Однако точное обеспечение параметров струи (температуры, скорости и т.п.), достаточных для расплавления частиц полимера у подложки, часто бывает сложным ввиду возможного протекания процессов окисления и деструкции.

Эффекты модифицирующего воздействия углеродного наполнителя ультрадисперсной природы на свойства газопламенных композиционных покрытий и их внешняя реализация будут проявляться в улучшении этих характеристик при введении наномодификаторов в полимерную матрицу. Причем оценка степени воздействия возможна косвенным путем через качественные параметры покрытий – твердость, прочность сцепления с основой, предел прочности на растяжение, коэффициент трения и износостойкость.

Анализ данных о кинетике полимеризационных процессов [3,5] и возможных методах регулирования свойств полимерных материалов показал их определенную взаимосвязь с технологическими режимами газопламенного напыления. Известно, что процесс синтеза полимеров характеризуется набором термодинамических и

кинетических параметров. Незначительная разница между температурами фазовых переходов исследуемого класса полимерных материалов осложняет управление этими параметрами при формировании покрытия газопламенным методом, требуя точного регулирования теплового воздействия на каждой его стадии. Управление физико-механическими свойствами полимеров может сводиться к регулированию его надмолекулярной структуры при протекании процессов кристаллизации расплава полимера. Определяющее влияние на структуру получаемого покрытия будут оказывать: концентрация инициатора в расплаве и температурно-временные условия каждой стадии синтеза [4]. Поэтому способом регулирования структуры получаемого покрытия могут являться изменение кинетических констант протекания данных процессов, включая температуру расплава, скорость охлаждения, время выдержки при определенной температуре и количество структурообразующих зародышей. Именно ультрадисперсные частицы могут служить инициатором процесса кристаллизации, что объясняется энергетическим состоянием их поверхности, связанным с особенностями химического строения (наличие УДА приводит к неоднородному распределению напряжений в расплаве и увеличивает скорость зародышеобразования).

При планировании эксперимента использовался экспериментально-статистический подход, когда экспериментальным путем устанавливаются связи между управляющими параметрами (на входе) и макрохарактеристиками (на выходе) с последующей статистической обработкой полученных результатов.

В проводимых исследованиях переменными были следующие факторы [9]:

- технологические режимы (температура предварительного подогрева или температура основы  $T_{осн}$ , дистанция напыления  $L_{нп}$ , тепловая мощность газового потока через количество рабочих газов  $Q_{гв}$  и исполнение сопловой части аппарата для напыления, температурно-временные условия протекания процесса через скорости стадий нагрева  $Q_{н}$  и охлаждения  $Q_{охл}$ );

- количественные значения характеристик порошка для напыления (%-ное содержание наполнителя  $v_{Нос}$ , ультрадисперсного модификатора  $v_{мод}$ , дисперсность и гранулометрический состав частиц, включая размер  $d$  наполнителя, его характеристику  $l/d$ ).

В качестве параметров оптимизации использовались качественные значения следующих структурно-механических характеристик:

- реологические параметры порошков наполнителя и порошковой композиции в целом (текучесть  $T$ );
- прочностные свойства покрытий (адгезионная прочность или прочность сцепления покрытия с основой  $\sigma_{сш}$ , когезионная прочность или прочность на разрыв  $\sigma_p$ , твердость  $H$ );
- структурные характеристики (содержание наполнителя в покрытии  $v_{Hn}$ , его пространственное распределение по отношению к прочим структурным составляющим, пористость покрытия  $I$ );
- триботехнические свойства (коэффициент трения  $f$ , износостойкость  $W$ ).

Количественный состав компонентов исходных композиционных порошковых композиций для исследований приведен в таблице 1.

Таблица 1. Состав порошковых композиций для исследования

Номер композиции	Полиамид Micro Flo Castoplast-31200R	Оксидная керамика $Al_2O_3$	Композиционный материал 25NiCr/Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -TiC
1	20	20	60
2	30	30	40
3	30	40	30
4	45	40	15
5	50	20	30
6	65	15	20

При приготовлении композиционных порошков заданных составов использовались: сушильный шкаф СНОЛ, прибор зернового состава, установка для смешения порошков «Планетарная мельница». Введение шихты УДАГ в композицию осуществлялось по принципу введения модифицирующих добавок в форме концентратов, что облегчает их распределение в общей массе порошкового материала композиции, одновременно достигается лучшая гомогенизация и получается стабильная нерасслаиваемая композиция. При проведении исследований использовались порошки шихты графита (УДАГ) производства АО «Сипта», г. Минск.

Исследования формы и размеров частиц, а также морфологии поверхности производились путем анализа данных, полученных на микрорентгеновском анализаторе Самеса-46.

В качестве рабочих газов при изготовлении образцов применялись пропан-бутан технический ГОСТ 20448–80, кислород технический ГОСТ 5583–78 и сжатый воздух ГОСТ 9.010–80. Предварительная обработка образцов – дробеструйная, для придания требуемого уровня шероховатости поверхности. Напыление материалов производилось пистолетом для газопламенного напыления порошковых полимерных материалов «ТЕНА-Пп» со специальным модулем, контроль температуры предварительного подогрева поверхности и ее изменение при нанесении – ИК-пирометром DX–39650–02 (USA).

Испытания прочностных свойств (прочность сцепления – штифтовая методика, прочность на разрыв) выполнялись на разрывной машине «Инстрон–1195» (Англия) при скорости подачи траверсы 0,5 мм/мин. Металлографические исследования проводились на шлифах при толщине покрытия 4 мм с использованием светового микроскопа MeF–3 фирмы Reichert (Австрия).

Исследование твердости формируемых композиционных полимерных покрытий осуществлялось методом Бриннеля (по ГОСТ 9012 – 59) на образцах следующей формы – пластинки размерами 25x15 мм с толщиной исследуемого покрытия 2,5 – 3 мм. В качестве индентора был использован стальной шарик Ø10 мм, соотношение между диаметром шарика и нагрузкой устанавливалось в 18,4 Н/мм<sup>2</sup>.

Оценка триботехнических характеристик – на машине трения марки СМТ–1 по схеме «вал – частичный вкладыш» при следующих условиях испытаний: скорость скольжения 0,5 м/с; удельное давление 6,5 МПа; смазочная среда – масло, вода (рис. 1).

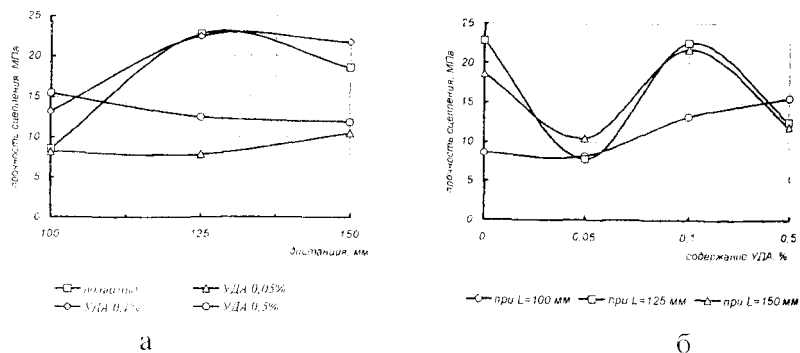


Рис. 1. Динамика изменения прочности сцепления:

- а) зависимость «прочность сцепления – дистанция напыления»;  
 б) зависимость «прочность сцепления – содержание УДА»

При определении прочности сцепления наносимого покрытия с основой практически во всех случаях полученные результаты соответствуют когезионной прочности покрытия ввиду отрыва образцов по покрытию. Данный факт говорит о превышении прочности сцепления над прочностью самого материала. Пониженные значения при малой дистанции напыления свидетельствуют о неполном расплавлении частиц материала при формировании покрытия и дефектности получаемого объема материала.

Предельное значение прочности сцепления получено при концентрации наполнителя 0,1% (дистанция 125 мм). Это говорит о достаточной подвижности полимерных цепей как вблизи поверхности наполнителя, так и внутри кристаллических структур полимера вокруг активных центров кристаллизации.

Известно, что механические свойства полимеров зависят от их молекулярной, в частности, надмолекулярной, структуры, и в том числе от размеров сферолитов. Изучение механизма действия УДА на структуру материала в значительной мере основано на методе одноосного ориентирования, который широко используется при получении волокон и пленочных покрытий. Это связано с возможной анизотропией свойств полимеров ввиду преимущественного расположения макромолекул вдоль осей ориентации, обусловленного их цепным строением. При нагружении происходит перестройка относительного расположения макромолекул, с параллельным изменением надмолекулярной структуры. Высокие свойства полимера будут определяться подвижностью его цепей, при этом чем выше их длина, тем выше свойства (напряжение разрыва, гибкость, пластичность). Изложенные принципы подтверждаются проведенными исследованиями прочности на разрыв материалов с различным содержанием УДА. Анализ результатов расчета прочности материала покрытия, полученного при различном содержании УДА и технологических режимах процесса охлаждения, показал их определенную взаимосвязь (рис. 2).



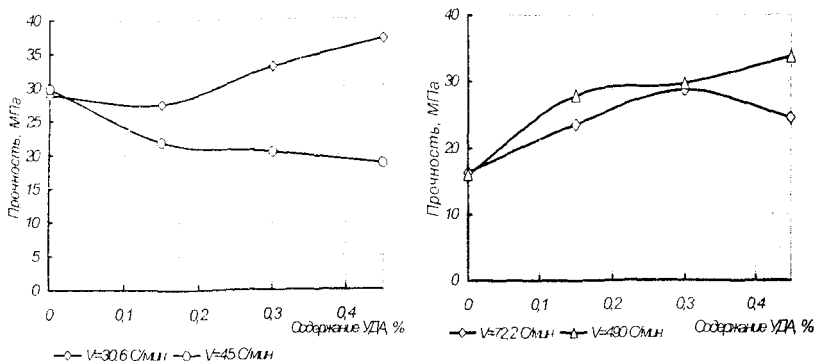


Рис. 2. Динамика изменения прочности на разрыв при различных скоростях охлаждения

Максимальные значения прочности для покрытий с УДА составили: 30,5 МПа (0,15%); 33 МПа (0,3%); 37,2 МПа (0,45%). Более высокие значения прочности для материалов с содержанием УДА в диапазоне 0,15 – 0,45% очевидно связаны с их влиянием на надмолекулярную структуру полимера. Следует предположить, что введение УДА позволило упорядочить структуру получаемого полимерного покрытия при более плотной упаковке сферолитов и уменьшении их размеров. Возрастание прочностных характеристик при введении кластеров УДА связывается с преобладанием эффекта упорядочения аморфных областей частично-кристаллического полиамида в межфазных областях над возможным снижением подвижности полимерных молекул вблизи поверхности модификатора на толщине адсорбционного слоя и некоторого распространения в область межфазного. К тому же следует отметить, что кристаллизация материала при отсутствии охлаждения позволяет получать макромолекулы полимера большей длины, обладающие повышенной подвижностью при нагружении.

Введение в состав полимерной матрицы исследуемых составов наполнителей положительно сказывается на твердости покрытия, что говорит о реализации ими упрочняющего эффекта. Наибольшей активностью в плане упрочнения обладает наполнитель в виде оксидной керамики  $Al_2O_3$ , который можно отнести к классу структурно-активных наполнителей. Это вытекает из следующего – увеличение содержания оксидной керамики в 2 раза (составы № 6 → № 4)

ведет к увеличению параметра твердости более чем на 100%, а для составов № 5→№ 3 более чем на 130%. Максимальные значения твердости газотермически нанесенных покрытий получены при 40% (объемн.) оксидного наполнителя. Следует предположить дальнейшее увеличение твердости до некоторого предельного значения концентрации, выше которого твердость будет снижаться ввиду значительного влияния реологических особенностей связующего в области высоких концентраций.

Совершенно другие показатели в плане упрочняющего эффекта показывает модификатор в виде двойных карбидов. Увеличение содержания последнего в 2 раза (составы № 6→№ 5) приводит к незначительному изменению твердости (до 18%), при увеличении же количества до 60% (объемн.) эффект упрочнения более очевиден и составляет 37% (состав № 1). Объяснением этому может служить значительная удельная поверхность, а значит и затрудненная динамика процессов смачивания как на начальных стадиях процесса, так и в последующем при кристаллизации ввиду быстроты протекания процессов взаимодействия (удар → пластификация (растекание) → взаимодействие с подложкой [3].

Эффект упрочнения заключается в свойстве частиц наполнителя воспринимать и передавать нагрузку. При этом ее величина будет определяться толщиной полимерной прослойки между частицами наполнителя, т.е. более мягкой составляющей покрытия. Рост величины твердости до определенного значения концентраций можно объяснить, во-первых, наличием достаточной толщины полимера, обеспечивающей реализацию упругопластического взаимодействия частиц при внедрении индентора и, во-вторых, свойствами переходного слоя вблизи поверхности наполнителя. Дальнейшее увеличение степени наполнения вызывает отсутствие реализации пластических сдвиговых деформаций из-за значительного уменьшения толщины полимерной пленки, а на некоторых участках контакта и ее отсутствия.

Определенный вклад вносит форма и размер частиц. С одной стороны, сглаженная поверхность и осколочная форма оксидных материалов способствуют концентрации напряжения на гранях частиц, что может привести к появлению микро- и макродефектов, ослабляющих систему адгезионных связей «наполнитель – матрица», а с другой – способствует более полному смачиванию при взаимодействии в результате меньшего времени протекания процесса.

Интересным является возможная корреляция между содержанием модифицирующего наполнителя и его свойствами при трении. Для получения сравнительных показателей при триботехнических

испытаниях приняты следующие концентрации наполнителей: шихта графита с УДА в количестве 0,5 мас.%, 15% графит (С2) и металлические наполнители (40%БрОЦС 5-5-5 и 10%Cu).

Таблица 2. Результаты исследования триботехнических характеристик

Наименование или состав материала	f	T <sub>мс</sub> , °С	Износ материала, мкм/км			
			точка 1		точка 2	
Полиамид 11	0,076*	22	0,26	0,06	0,22	0,07
	0,079	24	0,33	0,08	0,31	0,08
Полиамид 11+0,5%УДА	0,058*	19	0,20	0,03	0,21	0,03
Полиамид 11+15% графит (С2)	0,065	20	0,16	0,06	0,17	0,06
Полиамид 11+40%БрОЦС 5-5-5+10%Cu+5%графит (С2)	0,072*	21	0,18	0,03	0,19	0,03

\* – смазка маслом.

Отмечается положительный эффект от введения частиц УДА в покрытие, заключающийся в снижении коэффициента трения на 32 – 35% и увеличении износостойкости более чем в 2 – 2,2 раза. Данное улучшение фрикционных характеристик объясняется многоуровневым модифицирующим воздействием ультрадисперсного модификатора, проявляющееся в изменении структуры надмолекулярных образований, уменьшении дефектности и более упорядоченной и равновесной молекулярной структуре. С одной стороны, высокодисперсные частицы УДА выступают в роли искусственных структурообразователей, являясь центрами сферолитов. в то время как шихта графита, обладая значительно большими размерами, концентрируется в неупорядоченных областях, реализуя явление межструктурного заполнения. Такое многоуровневое модифицирование позволяет, во-первых, измельчить и упорядочить надмолекулярную структуру полимера и, во-вторых, упорядочить аморфные участки полимера. Основной выявленный положительный эффект от межструктурного заполнения – стабилизирующий, т.е. стабильность структуры во времени при различных воздействиях, связанная с термодинамическими и кинематическими (в основном) факторами. Например, при температурном воздействии стабильность связывается с затрудненностью перестройки и изменениями структуры за счет неупорядоченных

областей, их замедлением или полной невозможностью, что проявляется в незначительном изменении температуры смазочной среды в процессе испытаний.

Возросшая активность поверхности полимерной матрицы также способствует повышенной адсорбции молекул смазочной жидкости к поверхности, что приводит к уменьшению времени приработки и более стабильной работе сопряжения.

Анализ поверхности трения испытуемых материалов показал из существенное отличие. Прежде всего, морфология поверхности наполненных УДА материалов отличается более гладким рельефом, следы взрывов практически отсутствуют. Высота неровностей незначительна, что способствует более полной степени контакта поверхностей, увеличению удельной поверхности при фрикционном взаимодействии. Наличие эффекта размазывания полимера говорит о возможности протекания процессов переноса полимерного материала на поверхность контртела, т.е. самосмазывания.

## **Выводы**

1. Ультрадисперсный наполнитель однозначно положительно влияет на прочностные и триботехнические параметры полимерных газопламенных покрытий. Установлена определенная взаимосвязь между режимами термообработки полимера, содержанием УДАГ-модификатора и прочностными свойствами, прежде всего, прочностью на разрыв. Для ненаполненного полиамида максимальное значение прочности на разрыв достигается при средних скоростях охлаждения ( $30,7^\circ\text{C}/\text{с} - 28,8 \text{ МПа}$ ,  $45,0^\circ\text{C}/\text{с} - 29,6 \text{ МПа}$ ). Для наполненных систем в исследованном диапазоне концентраций УДА наблюдается рост прочности на разрыв (max  $37,2 \text{ МПа}$ ) при увеличенных скоростях охлаждения. Следующие концентрации УДАГ-модификатора соответствуют оптимальным значениям прочности: сцепления –  $0,1 \text{ мас.}\%$ , на разрыв –  $0,5 \text{ мас.}\%$ . Обнаруженные эффекты связываются с реализацией в формируемых газопламенным методом композиционных покрытиях эффекта многоуровневого модифицирования.

2. Результаты исследований подтвердили структурную активность материалов наполнителя при его взаимодействии с полимерным связующим. Установлено, что наибольшей структурной активностью во всем рассматриваемом диапазоне концентраций на-

полнителя обладает оксид алюминия  $Al_2O_3$ , но наибольшие значения твердости покрытия получены при его совместном введении с композиционным материалом 25NiCr/Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-TiC.

3. Определены режимы процесса газопламенного нанесения покрытий, соответствующие оптимальным значениям прочностных свойств: дистанция процесса 170 мм; температура предварительного подогрева основы 175 – 180°C; давления газов – горючего (пропана) 0,8 МПа, кислорода 2,4 МПа, воздуха 0,4 МПа (при напылении композиций с низким содержанием наполнителя давление должно снижаться до 0,25–0,3 МПа). Дополнительно установлено, что процесс напыления характеризуется высокой стабильностью и низкими потерями материала (коэффициент использования материала – 83%). Плотность формируемого при этом покрытия составляет 1,48 г/см<sup>3</sup>.

Необходимо отметить, что для некоторых физико-механических параметров материала значений, полученных другими авторами для формируемых негазотермическими методами композитов с УДА, достигнуть не удалось. Причиной этому может быть протекание необратимых изменений в полимерном материале уже при прохождении через высокотемпературный газовый поток и изменение молекулярно-массового распределения в сторону уменьшения молекулярной массы, что необратимо сказывается на свойствах материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карпинос Д.М. и др. Полимеры и композиционные материалы на их основе в технике. – Киев: Наукова думка, 1981.
2. Композиционные материалы: Справ. / Под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985.
3. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. – М.: Химия, 1991.
4. Ориентационные явления в растворах и расплавах полимеров / Под ред. А.Я. Малкина, С.И. Панкова. – М.: Химия, 1980.
5. Охлопкова А.А., Виноградов А.В., Пинчук Л.С. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями. – Гомель: ИММС НАНБ, 1999.
6. Погосян А.К., Сыроев П.В. Фрикционные композиты на основе полимеров. – Гомель: Трибонфо, 1992.

7. Принципы создания композиционных полимерных материалов/ Ал.Ал. Берлиц, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян и др. – М.: Химия, 1990.
8. Ханин М.В., Зайцев Г.П. Изнашивание и разрушение полимерных композиционных материалов. – М.: Химия, 1990.
9. Хасуй А. Техника напыления: Пер. с японского. – М.: Машиностроение, 1975.
10. Яковлев А.Д., Здор В.Ф., Каплан В.И. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе. 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1979.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗНОСОВ ШЛИЦОВ ПЕРВИЧНОГО ВАЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА Т-150

**А.В. Сайчук, аспирант**  
*ХИТУСХ*  
(г. Харьков, Украина)

### **Statistical analysis of wears of groove of the primary billow G-B of the T-150 tractor**

A statistical analysis of wear of groove of the primary billow G-B of the T-150 tractor is executed. It is shown, that nature of wear of groove enough well submits to distribution logarithmic normal and in accord with the Veibyl law.

**Проблема.** При исследовании износа шлицов первичного вала коробки передач (КП) трактора Т-150 в первой части выполненных исследований [1] были получены результаты, из которых можно заключить, что величина износа шлицов не описывается нормальным распределением.

**Анализ последних исследований.** Отклонение в данном случае объясняется тем, что износ шлицов вала, как и многих других деталей, является следствием протекания нескольких видов изнашивания [5].

**Цель исследования.** Для описания наиболее полного согласования теоретической и экспериментальной кривой износа следует провести оценку с использованием законов логарифмически нормального распределения и Вейбулла. Вторая часть научной работы посвящается именно этому исследованию, которое будет использо-